

# 红茶发酵化学与品质控制研究进展

林瑜玲, 郭雅玲\*, 赖凌凌, 奉红琼

(福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

**摘要:** 发酵是红茶品质形成的重要工序之一, 发酵过程中温度、湿度、通氧量等环境因素是影响红茶发酵品质的重要因素, 大量研究报道通过严格调控发酵温度、湿度、通氧量以提高红茶品质, 另一些研究报道则通过冷冻发酵、超高压、悬浮、添加外源酶等新技术手段以达到提高红茶发酵品质, 缩短发酵时间的目的。在发酵适度的判断依据和手段也是目前红茶发酵技术研究的重要内容, 大量研究证明茶黄素、茶红素、茶褐素的变化直接反映发酵进程, 电子鼻、电子舌以及分光光度法等手段的研究运用, 试图取代常规感官判定方法, 以准确鉴定发酵适度, 使红茶发酵工序向自动化、标准化迈进。本文从红茶发酵化学成分变化、红茶发酵影响因子、红茶发酵新技术和程度判断技术等方面对红茶品质控制技术的研究进展进行综述, 以期为技术人员在提高红茶品质方面提供参考。

**关键词:** 发酵; 红茶; 化学变化

## Research progress in chemical and quality control during the black tea fermentation process

LIN Yu-Ling, GUO Ya-Ling\*, LAI Ling-Ling, FENG Hong-Qiong

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**ABSTRACT:** It has been found that fermentation is one of the important procedures that can influence the quality of black tea after long term researches on biochemical changes during the black tea process. During the fermentation process, traditional technologies of fermentation strictly control the environmental factors (eg, temperature, humidity and oxygen volume) to modify quality of black tea, while new technologies of fermentation spend shorter time on significantly improving the quality of black tea by advanced methods such as frozen fermentation, high pressure, suspension, exogenous enzyme addition and so on. Approaching the end of fermentation, timely termination of fermentation is the key to improve the quality of black tea, which is mainly determined by organoleptic appraisals currently, but as more and more studies showed that TF, TR and TB directly reflected the fermentation level, electronic nose, electronic tongue and spectrophotometer had been applied, which had made fermentation procedure more automatic and standardized. In this paper, chemical composition changes during fermentation, influence factors of fermentation, new technologies of fermentation and fermentation degree judgement technologies were reviewed for providing reference to improve the quality of black tea.

基金项目: 福建省科技厅项目(2013S0030)、《茶叶品质化学》课程质量研究项目

**Fund:** Supported by the Project of Technology in Fujian Province (2013S0030) and Researches on the Qualities of Curriculums of Chemistry of Tea Quality

\*通讯作者: 郭雅玲, 副系主任, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与质量评价。E-mail: yaling7819@126.com

\*Corresponding author: GUO Ya-Ling, Associate Head of Tea Department, Professor, College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: yaling7819@126.com

**KEY WORDS:** fermentation; black tea; chemical change

## 1 引言

茶是世界上三大无酒精饮料之一。世界上茶叶贸易市场份额最大的是红茶。红茶加工已经有300多年的历史。在红茶生产中,形成红茶品质特征的关键工序是发酵。红茶加工与品质存在发酵不均、香气透青、茶汤带青味、叶底花杂等缺陷,生产出品质优良的红茶成为了人们非常关心的问题。本文对红茶发酵过程中影响品质变化的发酵因子,以及目前红茶发酵现状进行介绍,旨在为生产技术人员提供参考。

## 2 发酵中红茶生化成分的变化

### 2.1 茶多酚类的变化

红茶发酵以茶多酚的氧化为主,其他物质相应变化。在发酵过程中,茶多酚与线粒体和叶绿体中的多酚氧化酶接触并在氧气的参与下氧化成茶黄素、茶红素、茶褐素。发酵初期,茶黄素增加,并转化为茶红素,后期茶黄素持续增加,达最高点后开始下降,此时茶红素的量不降反增<sup>[1]</sup>。故当茶黄素和茶红素含量最大时,可视为发酵的最佳时间,要及时停止发酵,若发酵过度将导致红茶品质下降。

### 2.2 氨基酸的变化

在制红茶的过程中,随着发酵进行,游离氨基酸含量下降,形成了相应的醛和一些聚合物<sup>[2]</sup>。方世辉<sup>[3]</sup>在不同发酵程度试验中指出,在一定时间内,随着发酵程度的加深,氨基酸含量逐渐增加。其主要原因是发酵前期蛋白质水解,氨基酸积累大于消耗。延长发酵时间,氨基酸与邻醌及其他物质发生化学变化,形成了有色物质和芳香物质,氨基酸积累小于转化消耗,从而氨基酸含量减少。赵和涛<sup>[4]</sup>研究认为,脱氨和脱羧作用形成芳香物质导致氨基酸含量减少,故氨基酸减少幅度较大。红茶发酵过程中氨基酸的总量减少。

### 2.3 叶绿素的变化

在红茶揉捻加工过程中,茶叶细胞破损,一方面叶绿素发生脱镁反应,另一方面叶绿素被邻醌化合物破坏,从而导致叶绿素含量减少。在发酵过程中,叶绿素受多酚类物质的氧化还原作用影响,约减少了一半<sup>[3]</sup>。

### 2.4 芳香物质变化

红茶香气主要来自发酵过程中的酶促氧化及偶联反应,形成以醛、酮、酸等化合物为主要特征成分的甜花香<sup>[5]</sup>。赵和涛<sup>[6]</sup>研究表明,发酵过程中增加的香气主要是醇类、酮类、醛类等,减少的主要是酚类、酯类、酸类等。

芳香物质形成,主要是茶多酚物质在发酵时发生氧化还原作用,并引起“次生”和“伴随反应”,从而使红茶芳香物质大量增多。通氧影响着芳香类物质的形成,也造成多酚类的强烈氧化从而抑制单萜稀醇类物质的形成<sup>[7]</sup>。可见发酵的通氧技术要注意剂量。

## 3 影响发酵的因素

### 3.1 温度

温度影响红茶发酵的进行。发酵温度过高或过低都不利于红茶品质的形成。发酵温度过低,酶活性弱,多酚类物质氧化聚合难;发酵温度过高,多酚类物质的酶促氧化速度快,聚合产物的转化快,多酚类物质保留太少,影响红茶品质。

段红星等<sup>[2]</sup>认为,品质优的红茶,发酵适宜低温,在25~35℃进行为宜。余成法<sup>[8]</sup>认为,坦洋工夫红茶的发酵室温以24~26℃为宜,不超过28℃。郭桂义等<sup>[9]</sup>以信阳红为例指出,发酵气温以24~25℃为宜,叶温则保持在30℃以下为佳。方世辉等<sup>[3]</sup>研究表明,22℃和28℃发酵出来的红茶品质较好,茶黄素和茶红素含量较高。在一定发酵温度范围内,低温有利于黄茶素生成量的累积,高温则促进茶红素的积累。

大多数研究者赞同变温发酵。在红茶变温发酵试验中,发酵前期相对高温、中后期相对低温,有利于提高红茶品质<sup>[10,11]</sup>。夏涛<sup>[12]</sup>认为,在发酵初期利用高温(30℃)激活酶活性,促进初级及中间产物形成,中后期利用低温保持酶活性,充分使酶发生酶促氧化作用,从而抑制高级聚合物的形成,这样不但减少了发酵时间,且使茶黄素生成量较多。

### 3.2 湿度

发酵能否正常进行,取决于发酵叶的含水量。含水量多,通气性差,阻碍发酵进行;含水量少,影响发酵进行,因为水是发酵过程中物质变化的介质,同时也是许多物质变化的直接参与者。发酵室内的空气相对湿度高低也影响发酵叶含水量的散发程度,若相对湿度低,发酵叶水分蒸发太快,叶子表层失水导致干硬,从而影响发酵正常进行。湖南茶叶研究所试验结果,相对湿度在89%~93%时,花青暗茶减少了16%~18.6%,从而验证了提高发酵室内的相对湿度,能提高红茶发酵质量<sup>[13]</sup>。同类研究也有认为,红茶发酵室保持在高湿状态(相对湿度在95%以上),有助于控制发酵叶发酵质量,从而提高红茶品质<sup>[8,14]</sup>。

### 3.3 通氧

红茶发酵与供氧状况有关。红茶发酵以酶促氧化为主,

供氧量不足, 影响多酚类物质的氧化。使用通氧技术可缩短发酵时间, 提高生产效率, 提升红茶品质<sup>[15]</sup>。缺氧时, 即使温湿度控制到最佳, 也有发酵不良现象发生。一般发酵时, 保证空气流通, 以确保氧气充足, 同时还应注意排放二氧化碳。发酵缺氧, 影响多酚氧化酶的催化能力, 抑制茶黄素的形成<sup>[16]</sup>。发酵室中 CO<sub>2</sub> 过多, 抑制发酵进行<sup>[17]</sup>。摊叶厚度影响通气同时使叶温上升, 生产上以 10 cm 左右为宜, 采用抖松摊匀的技法有利保障通气良好。

### 3.4 时间

发酵时间与红茶品质有关, 发酵时间不足成茶品质带青涩, 超时发酵导致香味欠鲜。王小云等<sup>[18]</sup>在福云六号夏茶加工工夫红茶工艺试验研究中, 在适宜的温度、湿度条件下设定 6 个不同的发酵时间, 试验结果表明, 发酵时间以 4~6 h 为宜。有研究表明: 短时发酵, 茶黄素、茶红素产生较少, 但茶汤汤色更亮、香气高<sup>[19]</sup>。当发酵温度为 22 °C 时, 100 min 到 140 min 的发酵时间发酵出来的红茶品质较好, 其中发酵时间为 100 min 的红茶茶黄素、茶红素含量较高<sup>[9]</sup>。用春兰品种鲜叶加工红茶, 得出发酵温度在 25~28 °C, 湿度在 75%~85% 范围, 发酵时间控制在 3~3.5 h 情况下做出来的红茶品质最佳<sup>[20]</sup>。高茶黄素红碎茶的研究试验结果显示, 要想获得较高的茶黄素含量, 揉切发酵时间以 45 min 为佳<sup>[21]</sup>。因此, 要根据不同的茶叶品种, 不同的发酵环境, 灵活并适时终止发酵。

### 3.5 其他

除了温度、湿度、氧气、发酵时间对红茶发酵有影响外, pH 值对红茶发酵也有一定的影响。pH 越低, 茶黄素积累量越大; pH 越高, 茶黄素浓度越低。在高酸度环境下, 多酚氧化酶活性提高, 利于茶黄素的合成; 中性偏碱环境下, 茶黄素不稳定, 更易于形成高聚物色素<sup>[22]</sup>。毛清黎等<sup>[23]</sup>研究表明: pH 值与茶黄素和茶红素呈极显著负相关, 与茶褐素呈极显著正相关; 在 pH4.5~5.0 条件下发酵, 有利于茶黄素和茶红素形成。

## 4 红茶发酵新技术

### 4.1 冷冻萎凋技术

导入冷冻萎凋处理技术影响了发酵。研究表明-17 °C 处理萎凋叶效果较佳, 冷冻萎凋增加细胞膜透性, 促进多酚类物质氧化, 加快红茶发酵, 保留较多的茶黄素, 提高了红茶品质<sup>[24,25]</sup>。Thomas 等<sup>[26]</sup>研究表明, 经冷冻萎凋的叶子在发酵 4 h 时 TH 和 TR 含量最高, TB 含量最低, 相比自然萎凋, 冷冻萎凋不但加快了发酵进程, 同时增加了 TH 的含量, 从而提高了红茶品质。张雁飞<sup>[27]</sup>等研究表明, 冷冻工艺处理样的茶多酚、氨基酸等主要化学成分含量有增加趋势, 咖啡碱和可溶性糖的含量减少但不显著。感官审评结果也显示, 经冷冻萎凋处理的红茶香纯质优<sup>[28]</sup>。

### 4.2 超高压技术

超高压加工技术主要利用液体介质使食品在极高的压力下产生酶失活、蛋白质变性、组织结构变化和微生物灭活等物理、化学及生物变化<sup>[29]</sup>。为了最大程度地保持茶叶天然品质, 提高茶叶某些特殊成分的稳定性和内含物的低温溶出效率, 目前已经把超高压技术应用于茶叶加工领域。郭敏明等<sup>[30]</sup>用瞬间降压技术破碎茶叶细胞组织实验表明, 压力 0.25~0.3 MPa, 时间 3~4 min; 发酵温度 25~30 °C, 时间 40~50 min, 发酵充分且均匀, 缩短了发酵时间, 提高了冷泡茶的水浸出物含量。谭俊峰等<sup>[31]</sup>研究表明, 与传统工艺的红碎茶相比, 超高压处理的红碎茶 TH 含量、游离氨基酸总量、水浸出物含量均有显著提高, 且 TR 含量下降。

### 4.3 悬浮发酵技术

茶叶叶匀浆后, 经悬浮发酵方式生产红茶是一条红茶饮品加工的新途径<sup>[32]</sup>。在悬浮发酵过程中, 鲜叶因破碎强烈, 供氧量增大, 减少了发酵时间, 由于悬浮发酵后期没有经过高温干燥, 其香气品质特征明显与传统工艺制作的红茶有很大的区别<sup>[33]</sup>。夏涛等<sup>[34]</sup>研究表明, 悬浮发酵红茶其水浸出物、可溶性糖、氨基酸和茶黄素等含量均高于传统红茶, 其汤色红艳明亮, 滋味浓强爽, 加之悬浮发酵液经适当后熟处理, 改善了茶叶香气品质。

### 4.4 外源酶添加技术

外源酶制剂能很好地改善茶叶品质。添加 PPO 能缩短发酵时间, 提高茶红素、茶黄素含量, 提高中低档红茶的品质。为解决中小叶种红茶发酵不匀, 汤色深暗, 叶底花杂的现象, 刘仲华<sup>[35]</sup>提出在红茶发酵过程中适量喷洒硫酸铜溶液、胰蛋白酶、柠檬酸或亚油酸等。同时毛清黎<sup>[23]</sup>也提出用外源多糖水解酶处理萎凋叶, 能提高红碎茶水解效果, 同时外源酶使发酵茶坯酸化, 能提高多酚氧化酶的活性, 促进茶黄素形成。叶飞等<sup>[36]</sup>利用砂梨多酚氧化酶处理揉捻叶, 加工夏暑红茶, 促进红茶发酵, 苦涩味显著减少, 改善了夏暑红茶的品质。

以上发酵技术都能很好地保留茶黄素, 提高水浸出物含量, 在一定程度上改善红茶品质, 提高茶叶发酵质量, 并且缩短发酵时间, 节省材料。表 1 可以看出红茶发酵新技术的特点。

## 5 红茶发酵设备

红茶发酵俗称“发汗”, 也称“热发酵”。这种方式发酵条件难以控制, 产品质量差。后发展为“冷发酵”。70 年代末, 认识到了氧气对发酵的重要性, 发展成了发酵车通气发酵。1980 年我国开发出车式发酵设备。80 年代后期, 我国进行连续式发酵机的开发, 主要设备有不锈钢网带式多层发酵设备和塔体吊篮发酵设备。近几年控温控时发酵机

表1 红茶萎凋与发酵新技术对品质的影响  
Table 1 Effects of new technologies of withering and fermentation on quality of black tea

技术名称	原理	优点	文献
冷冻萎凋	通过冷冻技术提高茶细胞损伤率和损伤速率	增加茶黄素含量, 缩短发酵时间, 提高茶叶品质	袁弟顺等 <sup>[24]</sup> 、黄建琴等 <sup>[25]</sup> 、Thomas等 <sup>[26]</sup> 、张雁飞 <sup>[27]</sup>
超高压技术	利用液体介质使茶叶细胞组织结构变化	最大程度地保持茶叶天然品质, 提高水浸出物、茶黄素含量, 缩短发酵时间	郭敏明等 <sup>[30]</sup> 、谭俊峰等 <sup>[31]</sup>
悬浮发酵	茶鲜叶混合悬浮液匀浆后进行发酵	鲜叶破碎强烈, 供氧充分, 加快发酵, 水浸出物、可溶性糖、氨基酸和茶黄素含量均比传统红茶高	夏涛等 <sup>[34]</sup>
外源酶	在发酵的时候添加不同的外源酶	减轻红茶发酵不匀, 汤色深暗, 叶底花杂的现象, 提高多酚氧化酶活性, 促进茶黄素形成, 改善红茶品质	刘仲华 <sup>[35]</sup> 、毛清黎 <sup>[23]</sup> 、叶飞等 <sup>[36]</sup>

应运而生。有朱兴华<sup>[37]</sup>研制的红茶发酵自动恒温装置、龚自明等<sup>[38]</sup>研发的换气式恒温恒湿箱; 徐国华等<sup>[39]</sup>研制的红茶发酵塔、叶盛文等<sup>[40]</sup>的红茶温、湿度、氧气调控发酵装置; 宋鲁彬等<sup>[41]</sup>的红茶发酵促进器、王石乳<sup>[42]</sup>的智能红茶发酵设备以及戴智鸿、陈昌辉<sup>[43]</sup>的茶生产中的温湿自控发酵装置。目前, 我国红茶发酵设备运用参差不齐。发酵设备尚未达到智能化。日本诗田制作所研发的连续式红茶发酵机比我国设备先进, 采用超声波加湿器来调节湿度, 安装有蜂鸣报警器, 能对燃烧器灭火、茶叶堵塞等突发情况鸣笛报警<sup>[44]</sup>。如何更好地改进红茶发酵设备, 将是今后一个研究难点。

## 6 控制红茶发酵适度的方法

### 6.1 发酵叶感官判断法

感官判断法是生产上的常用方法, 凭借做茶师傅的现场观测进行感官判断, 通过对发酵叶散发出来的香气和发酵叶叶色的转变来判断发酵程度; 还有的直接采用开汤法。感官判断方法简单、快速、成本低, 但存在着个体间的认知差异。

### 6.2 电化学传感技术法和成分传感法

肖纯、陈宗道<sup>[45]</sup>对电化学传感技术法和成分传感法进行研究, 其原理为: 通过发酵过程中多酚类化合物的氧化, 导致茶坯胶体变性, 分子荷电量增加, 电解质电离加强, 离子活度增强, 发酵叶电导率上升; 同时氧化后的多酚类物质还会进一步与氨基酸等缩合, 从而降低电导率。根据电导率的变化规律可对红茶发酵程度进行判断。汪东风<sup>[46]</sup>通过实验证明, 红茶、绿茶、乌龙茶等茶类中存在不同的氧化还原体系, 发生不同的氧化还原反应, 从而形成了各类茶不同的品质特征。因此, 可根据不同茶类在不同的发酵阶段, 发酵叶进行着不同的化学反应, 然后再根据电导率不同, 综合判断发酵进程。

### 6.3 检测发酵叶叶温法

郭雅玲<sup>[47]</sup>通过测量发酵叶温度来判断红茶发酵适度与否。该方法简单易行, 将温度计直接插入发酵叶中, 每隔30 min 观测叶温, 当叶温上升到最大值并开始呈现平稳状态时方可结束发酵, 但该方法操作需要控制发酵室温度, 来排除因室温影响叶温, 以保持适当叶温, 从而使发酵正常进行。

### 6.4 电子鼻技术

电子鼻是由具有选择性的电化学传感器和适当的识别装置组成的一种仪器, 其能对复杂的气味进行识别<sup>[48]</sup>。电子鼻的工作原理是模拟人的嗅觉对被测气体进行感知、分析和识别。Nabarun 等<sup>[49]</sup>根据茶叶随发酵程度的不同而产生不同气味的原理, 将电子鼻技术应用于发酵过程的监测, 可以确定最佳发酵时间, 避免了发酵不够或过度发酵造成的茶叶品质下降。监测过程中的数据处理结果与色度检验和专家审评的结果一致<sup>[50]</sup>。

### 6.5 发酵叶水溶液分光光度检测法

刘玉芳<sup>[51]</sup>等发明了发酵叶水溶液分光光度检测法, 该方法根据茶黄素含量的变化规律以及茶黄素水溶液在460 nm 处有最大吸收峰的特性, 通过分光光度计定时检测发酵叶茶汤的吸光度值, 当发酵叶茶汤中吸光度值出现小→大→小变化时, 应立即终止发酵。

## 7 结语与展望

发酵是提高红茶品质的关键, 发酵须在一定的温度、湿度和氧气的条件下才能顺利进行, 合理控制红茶发酵过程中的温度、湿度和氧气, 掌握发酵最佳程度, 是生产优质红茶的保证。目前, 发酵仍停留在人工控温、控湿状态, 实现智能化控温、控湿、通氧、排气将是今后研究的方向。

红茶发酵适度判断设备有一定的研究成果, 但设备

操作复杂, 经济实惠不够, 影响设备的推广。科研人员在开发新技术的同时还要综合考虑到生产者的经济状况以及设备的可操作性问题, 这样才能全面实现红茶加工工艺的连续化、自动化、智能化。

红茶发酵程度的判断方法有很多种, 须因地制宜选择并优化, 分光光度法和电子鼻技术在评定红茶发酵程度方面有一定可行性, 把红茶发酵设备和红茶判定设备有机结合, 有助于实现红茶发酵一体化、智能化、标准化。

#### 参考文献

- [1] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社出版, 2003.  
Wan XC. Biochemistry of tea [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [2] 段红星, 邵宛芳. 红茶加工中物质变化与品质形成的关系[J]. 福建茶叶, 2004, (2): 13-14.  
Duan HX, Shao WF. Material changes in Black tea processing and quality formation of the relationship [J]. Fujian Tea, 2004, (2): 13-14.
- [3] 方世辉, 王先锋, 王惜生. 不同发酵温度和程度对工夫红茶品质的影响[J]. 中国茶叶加工, 2004, (2): 19-21.  
Fang SH, Wang XF, Wang XS. The effects of temperature and fermentation degree on the quality of congou Black tea [J]. China Tea Process 2004, (2): 19-21.
- [4] 赵和涛. 红茶发酵时主要化学变化及不同的发酵方法对工夫红茶品质的影响[J]. 蚕桑茶叶通讯, 1989, (2): 10-13.  
Zhao HT. Effect of Black tea fermentation mainly chemical change and different fermentation methods on the quality of the work Black tea [J]. Newsletter Sericul Tea, 1989, (2): 10-13.
- [5] 袁海波, 尹军峰, 叶国柱. 茶叶香型及特征物质研究进展[J]. 中国茶叶, 2009, (9): 9-12.  
Yuan HB, Yin JF, Ye GZ. Research advances on aromatic components of tea [J]. China Tea, 2009, (9): 9-12.
- [6] 赵和涛. 红茶发酵化学作用及电传感技术应用[J]. 热带作物科技, 1995, (3): 15-18.  
Zhao HT. Black tea fermentation chemical and electrical sensing technology application [J]. Tropi Crop Sci, 1995, (3): 15-18.
- [7] 陆松侯, 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.  
Lu SH, Shi ZP. Tea tasting and testing [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [8] 余成法. 坦洋工夫初制加工技术规程[J]. 农村新技术, 2009, (10): 63-65.  
Yu CF. Cultivation techniques of raw material processing on "Tanyang-gongfu" [J]. New Technol Rural, 2009, (10): 63-65.
- [9] 郭桂义, 刘建军, 聂东, 等. "信阳红"条形红茶加工技术[J]. 信阳农业高等专科学校学报, 2010, (4): 99-102.  
Guo GY, Liu JJ, Nie D. The processing technology of strip shaped "Xinyang Black tea" [J]. J Xinyang Agric College, 2010, (4): 99-102.
- [10] 陈以义, 江光辉. 红茶变温发酵理论探讨[J]. 茶叶科学, 1993, 13(2): 81-86.  
Chen YY, Jiang GH. Theoretical approach on the temperature-variable fermentation of Black tea [J]. Tea Sci, 1993, 13(2): 81-86.
- [11] 陈以义, 方晨. 红茶变温发酵试验[J]. 中国茶叶, 1993, (4): 6-7.  
Chen YY, Fang C. Testing on temperature-variable fermentation of Black tea [J]. China Tea, 1993, (4): 6-7.
- [12] 夏涛. 试析茶叶红变原理及红茶色泽形成的调控[J]. 福建茶叶, 1996, (4): 15-18.  
Xia T. An analysis of the principle and Black tea regulation of tea red color formation [J]. Fujian Tea, 1996, (4): 15-18.
- [13] 李辉. 红茶发酵技术研究进展[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2001, (2): 21-23.  
Li H. Headway of the studies on the fermentation technology of Black tea [J]. Newsletter Sericul Tea, 2001, (2): 21-23.
- [14] 金心怡. 茶叶加工工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.  
Jin XY. Tea processing [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [15] 陈娟. 氧气对红茶发酵影响作用的研究进展[J]. 贵州茶叶, 2013, (3): 5-7.  
Chen J. Research progress on the effect of oxygen on the fermentation of Black tea [J]. Guizhou Tea, 2013, (3): 5-7.
- [16] 夏涛. 红茶色素形成机制的研究[J]. 茶叶科学, 1999, (2): 139-144.  
Xia T. Study on the mechanism of Black tea pigments formation [J]. Tea Sci, 1999, (2): 139-144.
- [17] 李辉. 红茶发酵技术研究进展[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2001, (2): 21-23.  
Li H. Research progress on fermentation technology black tea [J]. Newsletter Sericul Tea, 2001, (2): 21-23.
- [18] 王小云, 谭少波, 杨春, 等. 福云六号夏季加工工夫红茶的工艺试验探讨[J]. 广西农学报, 2010, (3): 23-24.  
Wang XY, Tan SB, Yang C, et al. An experiment on Gongfu Black tea processing technology from Fuyun No.6 tea leaves in summer [J]. J Guangxi Agric, 2010, (3): 23-24.
- [19] P Okinda O, Martin O. The changes in Black tea quality due to variations of plucking strand and fermentation time [J]. Food Chem, 1998, 61: 435-441.
- [20] 刘玉芳, 杨春, 林朝赐, 等. 发酵时间对工夫红茶品质的影响研究初报[J]. 福建茶叶, 2008, (2): 21-22.  
Liu YF, Yang C, Lin CC, et al. Preliminary study on effects on the quality of gongfu Black tea fermentation time [J]. Fujian Tea, 2008, (2): 21-22.
- [21] 梁名志, 王平盛, 浦绍柳, 等. 高茶黄素红碎茶研制初报[J]. 中国茶叶加工, 2003, (3): 21-22.  
Liang MZ, Wang PS, Pu SL, et al. Initial research on brand-name high theaflavin broken Black tea [J]. China Tea Process, 2003, (3): 21-22.
- [22] 孔俊豪, 张士康, 禹超, 等. 茶树鲜叶发酵制备速溶红茶的工艺优化研究[J]. 中国茶叶加工, 2013, 03: 18-22, 27.  
Kong JH, Zhang SK, Yu C, et al. Optimization of fermentation technology of instant Black tea from fresh tea leaves [J]. China Tea Process, 2013, 03: 18-22, 27.
- [23] 毛清黎, 朱旗, 刘仲华, 等. 红茶发酵 pH 调控对多酚氧化酶活性及茶黄素形成的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2005, 31(5): 524-526.  
Mao QL, Zhu Q, Liu ZH, et al. Effects of pH modification on activity of polyphenol oxidases and formation of theaflavins [J]. J Hunan Agric Univ, 2005, 31(5): 524-526.
- [24] 袁弟顺, 林丽明, 金心怡, 等. 冰冻对工夫红茶发酵及水浸出物泡出速率的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2004, 30(5): 437-439.  
Yuan DS, Lin LM, Jin XY, et al. Effects of freezing on the fermentation and speed of infusion of congou Black tea [J]. J Hunan Agric Univ, 2004, 30(5): 437-439.
- [25] 黄建琴, 王文杰, 丁勇, 等. 冷冻萎凋对工夫红茶品质的影响[J]. 中国茶叶, 2005, (2): 18-19.  
Huang JQ, Wangt WJ, Ding Y, et al. Effects of freeze-withering on the quality of congou Black tea [J]. China Tea, 2005, (2): 18-19.
- [26] Thomas Muthumani, RS Senthil Kumar. Studies on freeze withering in Black tea manufacturing [J]. Food Chem, 2007, (101): 103-106.
- [27] 张雁飞, 李立祥, 张小福, 等. 冷冻对红茶品质的影响[J]. 茶叶科学, 2013, 04: 370-376.

- Zhang YF, Li LX, Zhang XF, *et al.* Effects of freezing on quality of Black tea [J]. *J Tea Sci*, 2013, 04: 370–376.
- [28] 张雁飞. 冷冻对红茶品质影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.  
Zhang YF. Research on the effects of freezing on black tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2013.
- [29] 夏远景, 薄纯智, 张胜勇, 等. 超高压食品处理技术[J]. *食品与药品*, 2006, 8(2A): 62–67.  
Xia YJ, Bo CZ, Zhang SY, *et al.* High pressure technology for food processing [J]. *Food Drug*, 2006, 8(2A): 62–67.
- [30] 郭敏明, 师大亮, 黄海涛, 等. 茶叶膨化处理的加工效果[J]. *浙江农业科学*, 2011, 04: 865–866.  
Guo MM, Shi DL, Huang HT, *et al.* The processing results of tea after puffing treatment [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2011, 04: 865–866.
- [31] 谭俊峰, 郭丽, 吕海鹏, 等. 超高压处理对红碎茶感官品质和主要化学成分的影响[J]. *食品科学*, 2008, 09: 87–91.  
Tan JF, Guo L, Lu HP, *et al.* Effect of ultra-high pressure treatment on sensory quality and main chemical components of CTC (crush, tear and curl) black tea [J]. *Food Sci*, 2008, 09: 87–91.
- [32] 夏涛. 茶鲜叶匀浆悬浮发酵工艺学及品质形成机制的研究[D]. 杭州: 浙江农业大学, 1998.  
Xia T. Studies on the technology of suspension fermentation of tea leaf homogenates and its quality formation mechanism [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural University, 1998.
- [33] 夏涛, 高丽萍. 茶鲜叶匀浆悬浮发酵红茶饮品的香气品质研究[J]. *南京农业大学学报*, 1999, 04: 84–88.  
Xia Tao, Gao LP. Studies on the aroma character of the suspension-fermented Black tea beverage of tea leaf homogenates [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 1999, 04: 84–88.
- [34] 夏涛, 童启庆, 萧伟祥. 悬浮发酵红茶与传统红茶品质比较研究[J]. *茶叶科学*, 2000, 02: 105–109.  
Xia T, Tong QQ, Xiao WX. Comparative study on black tea the quality of suspension fermented and orthodox Black tea [J]. *J Tea Sci*, 2000, 02: 105–109.
- [35] 刘仲华, 施兆鹏. 添加剂对红茶发酵与品质的影响[J]. *食品科学*, 1990, 11(12): 17–21.  
Liu ZH, Shi ZP. Effect of additive on the fermentation and quality of Black tea [J]. *Food Sci*, 1990, 11(12): 17–21.
- [36] 叶飞, 高士伟, 郑鹏程, 等. 利用砂梨多酚氧化酶减少夏秋红茶苦涩味研究[J]. *湖北农业科学*, 2012, (24): 5685–5689, 5699.  
Ye F, Gao SW, Zheng PC, *et al.* Bitterness and astringency in summer and autumn black tea decreased by exogenous polyphenol oxidase [J]. *Hubei Agric Sci*, 2012, 24: 5685–5689, 5699.
- [37] 朱兴华. 一种红茶自动恒温装置[P]. 中国, 201830837U. 2011-05-18.  
Zhu XH. An auto constant temperature device of Black tea [P]. China, 201830837U. 2011-05-18.
- [38] 龚自明, 郑鹏程, 高士伟, 等. 一种茶叶发酵用换气式恒温恒湿箱[P]. 湖北: CN201947892U. 2011-08-31.  
Gong ZM, Zheng PJ, Gao SW, *et al.* A type of constant temperature and constant humidity box for fermentation of Black tea [P]. Hubei: CN201947892U. 2011-08-31.
- [39] 徐国华, 倪德江, 封雯. 红茶发酵塔[P]. 浙江: CN202145852U. 2012-02-22.  
Xu GH, Ni DJ, Feng W. Black tea fermentation tower [P]. Zhejiang: CN202145852U. 2012-02-22.
- [40] 叶文盛, 甘蜜. 红茶温、湿度、氧气调控发酵装置[P]. 贵州: CN102511577A. 2012-06-27.  
Ye WS, Gan M. A device of temperature, humidity and oxygen regulation about Black tea's fermentation [P]. Guizhou: CN102511577A. 2012-06-27.
- [41] 宋鲁彬, 姚元涛, 魏传坤. 红茶发酵促进器[P]. 山东: CN202918963U. 2013-05-08.  
Song LB, Yao YT, Wei CK. Turbulence promoter for the fermentation of Black tea [P]. Shandong: CN202918963U. 2013-05-08.
- [42] 王石乳. 智能红茶发酵设备[P]. 福建: CN102919412A. 2013-02-13.  
Wang SR. Intelligent equipment for the fermentation of Black tea [P]. Fujian: CN102919412A. 2013-02-13.
- [43] 戴智鸿, 陈昌辉. 茶生产中的温湿自控发酵装置[P]. 四川: CN102885171A. 2013-01-23.  
Dai ZH, Chen CH. A automatic control system for temperature and humidity during tea processing [P]. Sichuan: CN102885171A. 2013-01-23.
- [44] 韩余, 肖宏儒, 秦广明, 等. 红茶加工工艺及机械设备研究进展[J]. *中国农机化学报*, 2013, 02: 20–25.  
Han Y, Xiao HR, Qin GM, *et al.* Current research situations about processing technic and mechanic equipments for Black tea [J]. *J Chin Agric Mechaniz*, 2013, 34(2): 20–25.
- [45] 肖纯, 陈宗道. 红茶发酵程度的传感技术研究[J]. *茶业通报*, 1989, 2: 40–43.  
Xiao C, Chen ZD. Study on sensor technology of Black teas fermenting degrees [J]. *J Tea Bus*, 1989, 2: 40–43.
- [46] 汪东风. 茶汤氧还体系电位值的测定[J]. *茶业通报*, 1993, (4): 3–5.  
Wang DF. The potentiometric determination of tea infusion's redox system [J]. *J Tea Bus*, 1993, (4): 3–5.
- [47] 郭雅玲. 武夷红茶发酵技术要领[J]. *福建茶叶*, 2010, (3): 48–49.  
Guo YL. The main point of wuyi black tea fermentation technology [J]. *Fujian Tea*, 2010, 3: 48–49.
- [48] Gardner JW, Bartlett PN. A brief history of electronic nose [J]. *Sensor Actuat B-Chem*, 1994, 18(1-3): 211–220.
- [49] Nabarun B, Sohan S, Bipan T, *et al.* Monitoring of Black tea fermentation process using electronic nose [J]. *J Food Eng*, 2007, 80: 1146–1156.
- [50] Nabarun B, Sohan S, Bipan T, *et al.* Detection of optimum fermentation time for Black tea manufacturing using electronic nose [J]. *Sensor Actuat B*, 2007, 122: 627–634.
- [51] 刘玉芳. 工夫红茶发酵适度检测方法的研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 37(4): 345–349.  
Liu YF. Study on the detecting method of optimum fermentation of kungfu Black [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 37(4): 345–349.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



林瑜玲, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与加工工程。

E-mail: 597515963@qq.com



郭雅玲, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与品质评价研究。

E-mail: yaling7819@126.com